垄上栽培对盐碱地食叶草根系生长和产量的影响①

郑 旭, 李 斌, 张万银, 刘 婧, 张凤华, 李鲁华, 王家平
(石河子大学农学院,新疆 石河子 832000)

摘 要: 合理利用无法耕种而荒弃盐碱地对于解决我国耕地紧缺具有重要意义,食叶草是一种耐盐碱草本作物,研究食叶草生长发育可为盐碱地的开发利用提供新的改良措施。通过田间试验,设置垄上和平作两种栽培模式,利用微管法动态监测食叶草根系生长动态变化,研究垄上种植模式对盐碱地食叶草生物量、根长、根体积、平均根直径、根尖数和叶形态变化的影响。结果表明:① 垄作和平作根系生长均呈现近似对数特征。② 一年生食叶草垄上种植模式根长为 2 217.9 cm,较平作增加 10.47%;平均根直径为 2.41 mm,较平作增加 5.63%;根体积为 101.18 cm^3,较平作增加 34.69%;食叶草产量为 0.803 $kg \cdot m^{-2}$,较平作增加 20%。③ 与平作种植模式相比,垄上栽培能够促进食叶草地下根系发育和叶片生长,提高食叶草产量。

关键词: 食叶草; 盐碱地; 栽培方式; 根系生长; 产量; 石河子

据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计,世界上盐碱地面积达到 9.5×10^8 hm^2,中国盐碱地面积在 3.6×10^7 hm^2 以上,新疆作为中国最大的盐渍土分布区,盐碱土面积达 1.1×10^7 hm^2,约占全国盐碱土面积的 1/3[1-3]。盐碱土资源集中分布在黄淮海平原地区、东北松嫩平原、西北干旱地区、沿海滩涂地区,盐碱土的持续利用与优化管理研究一直备受重视[4-5]。

目前,国内外对于盐碱土改良治理多采用水利工程改良、化学改良、农业技术改良、生物改良等 4 类技术[6-7]。我国从 20 世纪 80 年代开始逐渐由单一措施到综合措施,以一种技术为主导,其他技术辅助,共同改良[7-8]。韩剑宏等[3]研究表明生物炭和脱硫石膏共同使用可有效降低土壤 pH 值,提高土壤肥力,达到降低土壤含盐量、提高作物产量的作用。Miranda 等[9]通过种植苗木和使用土壤改良剂对盐碱地物理性状的研究发现,苗木根系可以穿透坚硬的土层,提高土壤孔隙度,吸收土壤中盐分,降低盐分在表层积累速度。

种植耐盐植物是今后盐碱地改良利用的发展方向之一[8]。张科等[10]对一年生盐生植物的研究发现,分别种植 3 种植物,如盐生草(*Halogeton glomeratus*)、棒头草(*Polypogon fugax*)、黄芪属(*Astragalus* Linn.)等代表植物对于改良盐碱地效果同样明显。同时,盐生植物的种植能够使盐碱地产生经济效益,同时降低耕作层土壤中的盐分,符合可持续发展的要求,可为建设绿色农业打下基础。食叶草(*Rumex hanus* by.)为蓼科(Polygonaceae)酸模属(*Rumex*),多年生宿根草本植物,具有耐盐碱、营养丰富、含有多种抗氧化物质和微量元素等特点,既可以做牧草,又可以作为蔬菜或者食品加工原料[11-14],是改良重度盐碱地的一种潜在草本植物。

根系是进行物质交换、固定植株的重要器官[15],与作物适应盐碱土壤环境密切相关。由于根系深埋于地下,取样困难,难以直接观察与测定,导致根系研究深度与广度较落后于植物地上的研究[16-17]。微根管法(minirhizotron)是一种基于不破坏根系,能野外定点连续监测根系生长动态的研究方法,具有破坏小,动态多点监测等特点,已被广泛用于农业试验[18]。刘俊萍等[19]利用微根管法监测油茶细根时空动态分布,并分析不同施钾水平对油茶细根分布变化;潘小莲等[20]利用微根管法动态监测不同覆盖模式下冬小麦耗水特征及根系生长规律,并讨论根系生长与小麦耗水之间的关系;Ahrens 等[21]利用微根管技术分析作物根系参与环境碳循环关系。

① 收稿日期: 2019-06-21; 修订日期: 2019-08-27
基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0501406)和石河子大学国际科技合作推进计划项目(GJHZ201906)
作者简介: 郑旭(1996-),男,研究方向为干旱区盐碱地恢复与治理
通讯作者: 王家平. E-mail:2006wjp@163.com

平作和垄作是常见的作物栽培方式,国内外广泛应用于农业生产和土壤改良[22-24]。研究表明,与平作相比,垄作栽培可以提高作物产量、改善土壤水分、温度、通气等土壤性状[25-26]。孙梦媛等[22]通过全膜垄作种植方式使马铃薯增产 52.85%。张婷等[27]研究表明,旱地垄沟播种提高玉米的产量,改善土壤水热状况。翟星宇等[24]通过垄作提高土壤有机质和全氮含量。陈静蕊等[28]通过垄作种植方法提高了土壤全氮和全磷含量。张国和等[29]在大庆地区正常土地上种植食叶草年鲜草产量为 165 $t \cdot hm^{-2}$。然而目前对盐碱地食叶草生长发育和产量的研究相对较少。本研究以盐碱土资源利用为基础,探究垄作对食叶草生长发育和产量变化的影响,为干旱区盐碱地利用提供实践基础。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2018 年 7—11 月在石河子总场五分场(44°36′1.75″N, 85°57′35.72″E)进行,石河子属于温带大陆性气候,冬季长而严寒,夏季短而炎热。年平均降水量 100 ~ 190 mm,年平均蒸发量在 1 200 mm 左右,无霜期为 170 d 左右,≥0 ℃的活动积温为 4 100 ℃左右,≥10 ℃的活动积温为 3 600 ℃左右。石河子地区日照充沛,年日照时数为 2 800 h 左右,北部地区日照时数多于南部地区。小区试验土壤为灰漠土,盐含量 0.6% ~ 0.7%,pH 值 11.0 ~ 11.2,为重度碱化土。0 ~ 20 cm 土层土壤有机质为 5.6 $g \cdot kg^{-1}$、全氮 0.28 $g \cdot kg^{-1}$、全磷 0.75 $g \cdot kg^{-1}$、全钾 21.2 $g \cdot kg^{-1}$。生育期温度、降水情况如图 1 所示。

1.2　试验设计

试验设 2 个处理,即垄上种植和常规种植,3 次重复,共 6 个小区。每个小区 3.6 m × 10 m 共 36 m^2。垄面宽 20 cm, 垄为梯形垄, 沟底宽 30 cm, 垄高 15 cm,垄坡边坡系数取 1.0(图 2),垄上种植食叶草 1 行,距 60 cm,株距 40 cm。耕后平整土地上直接种植食叶草,行距 60 cm, 株距 30 cm 。

2018 年 8 月 2 日进行人工起垄,8 月 5 日播种(穴播),8 月 7 日第 1 灌水。8 月 15 日出苗,8 月 25 日间苗,前茬为冬小麦,播前基肥施 P_2O_5 150 $kg \cdot hm^{-2}$。追肥施 N 100 $kg \cdot hm^{-2}$,分别以含氮量 46% 尿素和含 $P_2O_5$16% 的过磷酸钙为氮源和磷源;8 月

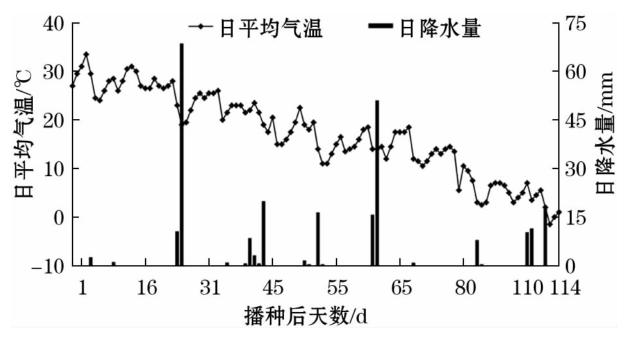


图 1　2018 年试验区日降水量和日平均气温变化特征

Fig. 1　Daily precipitation and average air temperature in test areas from 2018

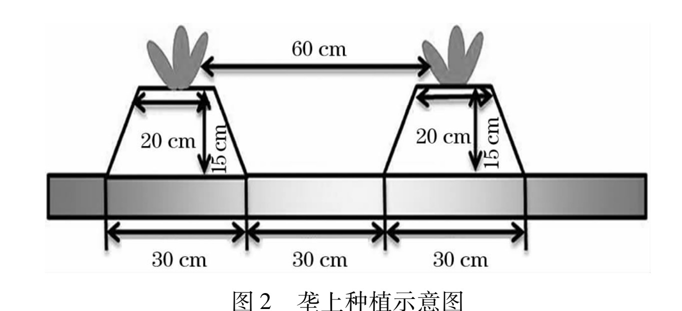


图 2　垄上种植示意图

Fig. 2　Schematic diagram of ridge and furrow planting

7 日至 9 月 17 日灌水 4 次,每 10 d 灌水 1 次,2 个处理保持灌水时间和施肥量一致。其余时间不灌水。

1.3　微根管埋设

试验采用微根管技术对食叶草根系分布特征进行研究。在食叶草幼苗期安装 CI-600 根系监测系统(CID Bio-science, Camas, WA, USA),使用底部密封的透明塑料根管(与 CI-600 配套,内径 64 mm,长度 600 mm)用于监测食叶草根系。微根管埋设与地面呈 90°夹角。根管密封的一端插入到土壤中,另一端的盖子可以拿掉,管子需露出地面 10 cm 左右,根管距植物 5 cm。不监测时盖上黑色塑料盖子以防止其他杂物落入管中,并在外管壁包被黑色胶带,以阻止光线透过根管传播而影响食叶草根系生长。微根管埋设如图 3 所示。

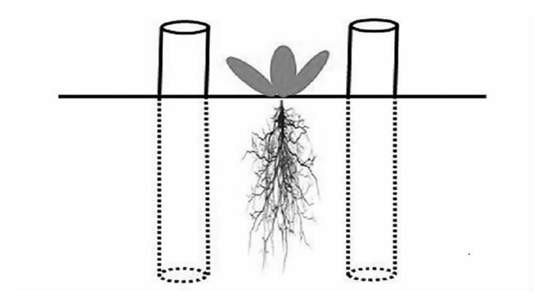


图 3　微根管布置示意图

Fig. 3　Schematic diagram of root canal arrangement

1.4 测定方法

1.4.1 根系监测与处理 从食叶草4片真叶开始，每隔10 d用根系监测系统对根系进行监测。使用拉杆送下扫描头，在与扫描头连接的拉杆上，每隔20 cm安装拉杆，使用这些拉杆，把扫描头送到需要测量的位置，根据埋设角度计算，得到（0～20 cm、20～40 cm）不同深度根系的分布图。每次获取的图片面积为21.60 cm ×15.60 cm，像素密度为1 200 dpi，以TIFF格式保存在电脑里，在实验室利用系统配备的WINRHIZOTRON2015a（上海泽泉科技有限公司，United States of America）进行分析。每个重复均为2个根管数据平均值。

1.4.2 叶片数、叶面积及产量的测定 从食叶草1片真叶到叶簇期，每隔7 d测量有效叶片数和最大叶面积[30-35]（用毫米尺测量叶片中脉长度和叶片最大宽度）。在叶簇期（10月10日），各小区随机选择长势正常的6株食叶草带回室内，每个小区3个重复带，进行称量。鲜重测量完毕后，将其放入烘箱，105 ℃杀青2 h后，于75～80 ℃烘干至恒重，取出，用天平称量干重（1/1 000）。

1.5 统计与分析

采用IBM Statistics SPSS 21.0软件进行数据处理和统计分析，通过 t 检验（t-test）差异显著性（P = 0.05），用Sigma Plot 12.5软件绘制图形。

2 结果与分析

2.1 不同栽培方式对食叶草叶片形态的影响

2018年8月5日播种，8月15日出苗，出苗后第13 d发生第1片真叶，以后平均每6～8 d发育1片真叶，第6片真叶发育（出苗后第48 d）后开始分枝，每片真叶的叶腋均产生腋芽，每个腋芽可形成新的分枝。分枝后植株生长加快，到叶簇期即可刈割（表1）。

2.2 不同栽培方式食叶草根长变化特征

由图4可知，不同土壤深度食叶草根长情况总体表现出近似对数型增长，随着生育期根长不断增加。垄作下食叶草根长由572.6 cm增加到2 217.9 cm，平作下食叶草根长从624.6 cm增加到2 007.7 cm。10月4日到11月4日，0～40 cm土层垄作栽

表1 食叶草的叶形态指标变化

Tab.1 Changes of leaf morphological indicators of *Rumex hanus*

生育时期	处理	出苗	真叶						分枝期	叶簇期
			1	2	3	4	5	6		
	日期/月-日	08-15	08-21	08-27	09-02	09-10	09-16	09-21	09-21—10-14	10-14
平作	叶长/cm		5.2	6.3	7.6	8.6	9.4	10.6	11.0	11.7
	叶宽/cm		2.2	2.6	3.1	3.8	4.3	4.7	5.0	5.5
	叶片								16	18
	日期/月-日	08-14	08-20	08-28	09-02	09-09	09-15	09-20	09-20—10-14	10-14
垄作	叶长/cm		5.0	6.2	7.4	8.2	9.4	10.4	10.9	11.3
	叶宽/cm		2.3	2.8	3.3	4.0	4.3	4.6	4.8	5.2
	叶片								18	22

注：表中数据为平均值±标准差。

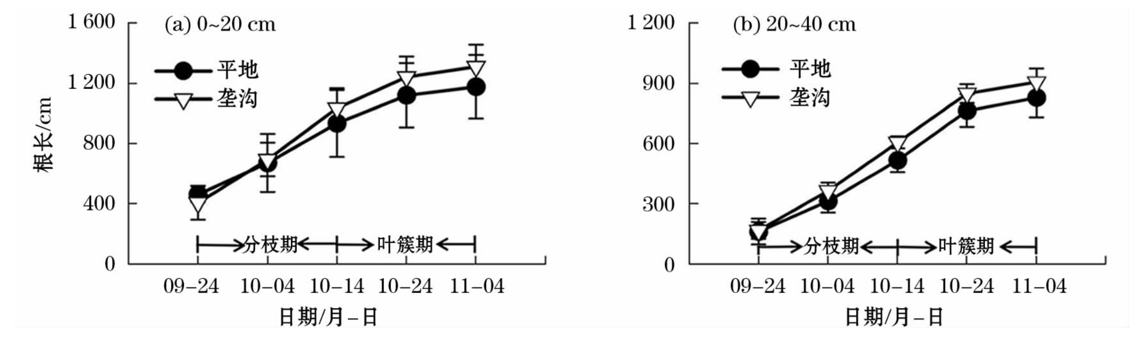


图4 不同栽培方式对食叶草0～40 cm根长的变化特征

Fig.4 Variation characteristics of different cultivation methods on root length of 0-40 cm

培食叶草根长略高于平作栽培,但差异不显著(P = 0.127、P = 0.052)。11 月 4 日,表层(图 4a)土壤垄作和平作根长分别为 1 311.4 cm、1178.1 cm,垄作栽培较平作栽培分别增加了 11.31%。下层(图 4b)土壤垄作和平作根长分别为 906.6 cm、829.5 cm,垄作处理较平作处理增加了 9.28%。分枝中期至叶簇期,食叶草根系整体增长较快,且垄作增长速率明显大于平作。10 月 14 日前,表层(图 4a)土壤食叶草根长增长速率高于下层(图 4b)土壤,表层和下层增长速率分别是 24.0 $cm \cdot d^{-1}$、17.8 $cm \cdot d^{-1}$ (P = 0.032 6)。10 月 14 日后,表层(图 4a)土壤食叶草根长增长速率低于下层土壤,表层和下层根系增长速率分别是 20.6 $cm \cdot d^{-1}$、24.7 $cm \cdot d^{-1}$ (P = 0.012 4)。

2.3　不同栽培方式食叶草平均根直径变化特征

由表 2 可知,0 ~ 40 cm 土层食叶草平均根直径随着生育期的推进而不断增加,11 月 4 日平均根直径达到最大,总体表现为垄作栽培高于平作栽培。分枝期(10 月 4—14 日)平均根体积增加明显,叶簇期(10 月 24 日到 11 月 4 日)平均根直径化趋于稳定。9 月 24 日,表层(0 ~ 20 cm)土壤中垄作处理与平作处理平均根直径分别为 2.21 mm、1.98 mm,达到显著性差异(P = 0.037),叶簇期(10 月 14 日到 10 月 24 日)垄作栽培和平作栽培根直径没有显著差异(P = 0.324,P = 0.136)。11 月 4 日,表层(0 ~ 20 cm)土壤层垄作处理与平作处理平均根直径分别为 2.35 mm 和 2.24 mm,达到显著性差异(P = 0.019),下层土壤平均根直径没有显著差异(P = 0.064)。所有监测结果均显示,下层土层平均根直径大于表层的平均根直径。这可能是表层土壤中根数较多根长较长,从而使平均根直径降低。

2.4　不同栽培方式食叶草根尖数变化特征

由图 5 可知,在同一土壤深度,根尖数总体变化呈近似对数型,表现出“快—慢”的生长变化特征,随着土壤深度的增加不同处理根尖数总体表现为逐渐减少。栽培方式对表层(图 5a)和下层(图 5b)土壤根数增长无显著差异,但表层土壤细根数显著多于下层土壤(P = 0.04),表层土壤细根生长速率比下层土壤细根生长速率要快,说明根系主要集中在表层土壤。分枝期细根增长速率较快,其中叶簇中期,下层土壤细根产生速率要快于表层,可能是由于下层土壤温度下降缓慢,适宜根系生长温度持续时间较长所引起的。10 月 24 日到 11 月 4 日根尖数增长趋势减少,这可能是由于气温逐渐降低至 0 ℃左右,食叶草生理代谢、生长发育接近停止。总之,食叶草根尖数垄作处理较平作处理增加了19.16%。

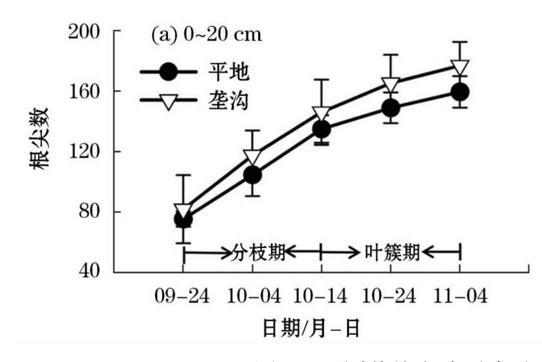
2.5　不同栽培方式食叶草根体积变化特征

从如图 6 可知,食叶草根体积随着生育时期的

表 2　不同时期食叶草平均根直径变化特征

Tab. 2　Average root diameter of *Rumex hanus* in different periods

深度		0 ~ 20 cm		20 ~ 40 cm	
	处理	平作/mm	垄作/mm	平作/mm	垄作/mm
日期	09 - 24	1.98 ± 0.10b	2.21 ± 0.15a	2.10 ± 0.11b	2.20 ± 0.03a
	10 - 04	1.85 ± 0.14b	2.09 ± 0.17a	2.01 ± 0.10b	2.19 ± 0.03a
	10 - 14	2.11 ± 0.19a	2.22 ± 0.19a	2.16 ± 0.12b	2.37 ± 0.04a
	10 - 24	2.19 ± 0.11a	2.30 ± 0.12a	2.24 ± 0.09b	2.41 ± 0.02a
	11 - 04	2.24 ± 0.08b	2.35 ± 0.10a	2.27 ± 0.08b	2.42 ± 0.01a



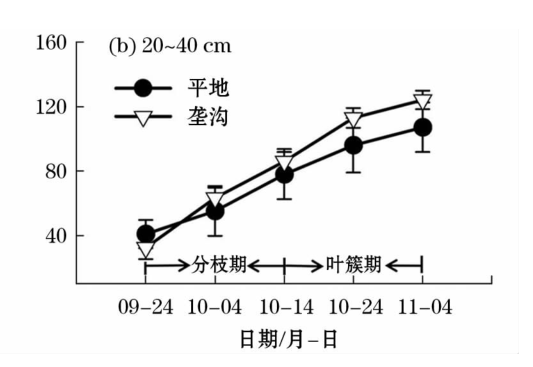


图 5　不同栽培方式对食叶草 0 ~ 40 cm 根尖数的变化特征

Fig. 5　Variation characteristics of different cultivation methods on root tip of 0 - 40 cm

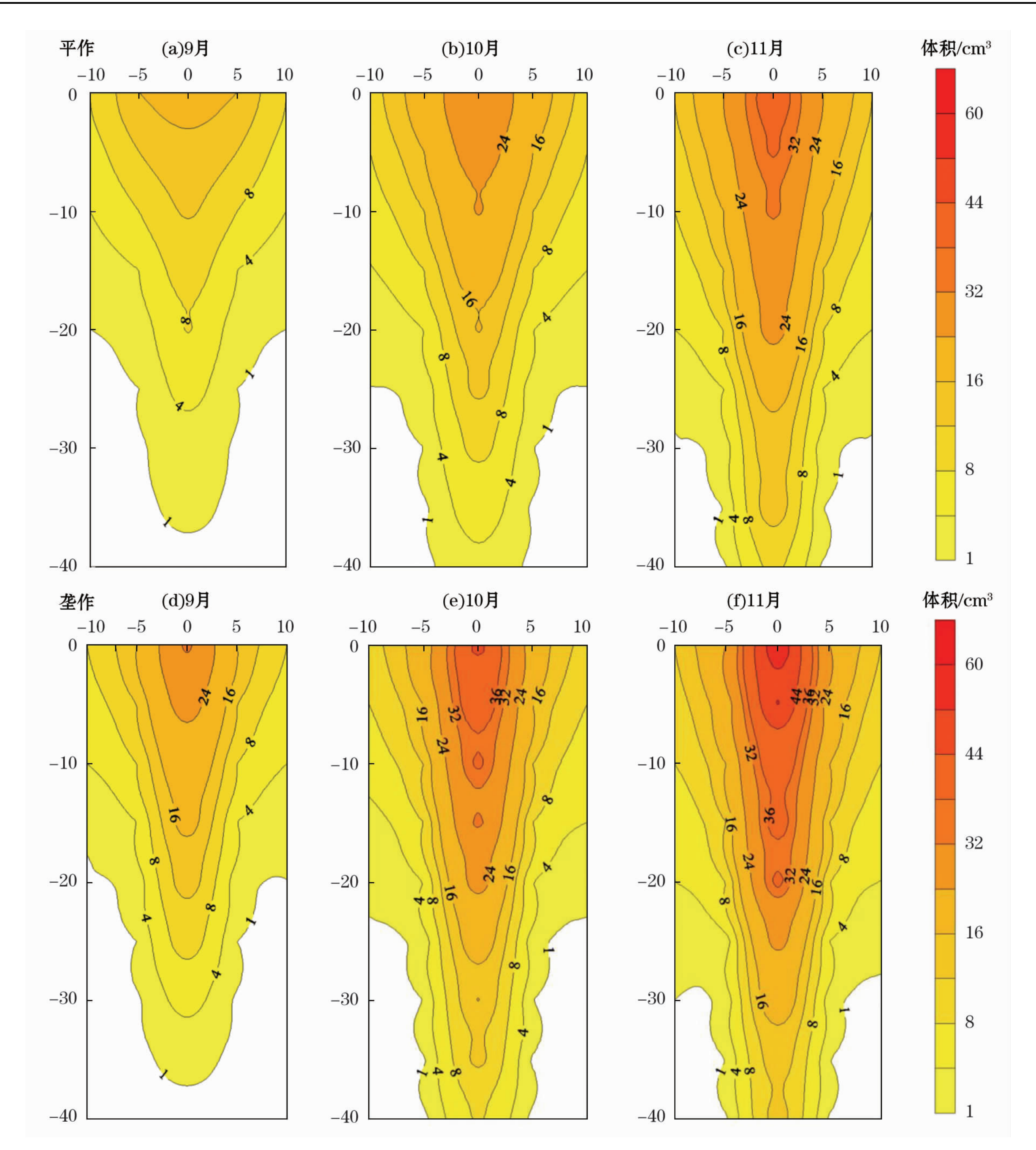


图 6　不同时期食叶草根体积变化特征

Fig. 6　Root volume of *Rumex hanus* in different periods

推进逐渐增加,呈"V"字分布特征,垂直方向表现出上高下低,水平方向表现出中间高两边低。垄作处理根体积由 15.0 cm^3(图 6d)增加到 101.2 cm^3(图 6f),平作处理由 14.9 cm^3(图 6a)增加到 75.1 cm^3(图 6c),垄作处理食叶草根体积较平作处理增加了 34.6%。

垄作和平作处理食叶草月周期增长势差异显著($P=0.033$)。垄作处理和平作处理 10 月份根体积较 9 月分别增加 53.6 cm^3、36.7 cm^3,二者之间差异极显著($P=0.004$),11 月垄作和平作处理根体积较 10 月分别增加 32.63 cm^3、23.50 cm^3,且差异显著($P=0.026$)。食叶草根体积 9—10 月份增长速率高于 10—11 月,增长趋势与其同时期根长、平均根直径和根尖数表现相一致。

2.6　不同生育时期栽培方式对食叶草叶面积和产量变化特征

由图 7 可见,随着生育期的推进,食叶草叶面积呈"先快后慢"变化。真叶时期,叶面积迅速增加,真叶期至分枝期垄作和平作叶面积增长无明显变化,说明在真叶期,食叶草主要是地下根系生长为

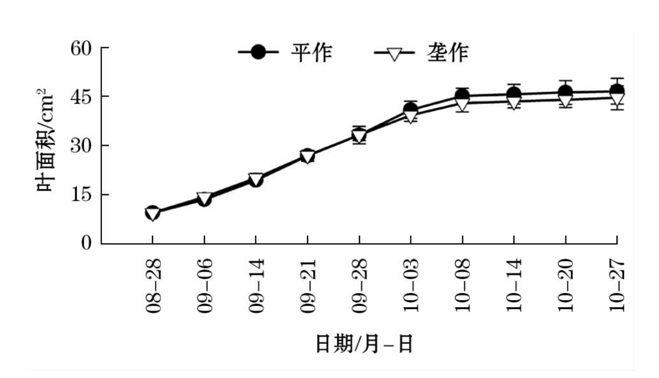


图 7　不同处理对叶面积变化特征

Fig. 7　Changes of leaf area under different treatments

主。食叶草叶面积叶簇期垄作略低于平作,但达不到显著性差异($P=0.426$)。叶簇后期食叶草叶面积增长速率降低,这可能由于食叶草生长至"叶簇期"后,叶片面积增长缓慢,达到收获时间。但垄作种植较平作能够增加食叶草生物量,二者鲜重分别为0.803 kg·m^{-2}和0.670 kg·m^{-2},差异达到极显著水平($P=0.007$),但干鲜重比没有影响(表3)。

表 3　不同栽培方式食叶草产量变化特征

Tab. 3　Characteristics of yield change of *Rumex hanus* under different cultivation modes

处理	鲜重/(kg·m^{-2})	干重/(kg·m^{-2})	干(鲜)/%
平作	0.670 ±0.060b	0.089 ±0.002b	13.213 ±0.583a
垄作	0.803 ±0.045a	0.109 ±0.008a	13.226 ±0.238a

3　讨 论

不同栽培模式对作物根系性状存在较大差异[36-38]。马明忠等[39]在甘肃张掖的试验研究表明,垄作栽培明显促进小麦根系生长,0~100 cm 土层根长均高于平作栽培,增幅为26.99%~39.21%。翟夏斐[40]在陕西长武县十里铺村(107°45′E,35°12′N)研究表明,垄覆沟播下的冬小麦根长、根尖数、较常规栽培模式的增幅分别为29.2%±13.6%、22.6%±12.2%。本研究中,根长增幅10.47%±0.97%,根尖数增幅19.16%±6.72%,显著低于前人研究结果(图8)。其原因可能是本试验位于重度盐碱地上,根系为抵抗外界渗透胁迫和高 pH 胁迫,将较多营养物质由生长发育转换到代谢生理抵抗外界不良环境。垄作栽培模式由于垄、沟的存在增加了土壤表面积,改变了土壤的温、光、水、热等条件, 创造出有利作物生长发育的环境,最终增加了作物产量[22,25,41]。本研究表明,垄作栽培下食叶草根长、根体积、根尖数和平均根直径较平作栽培均有显著增加,这主要由于在垄作条件下,可能提高了土壤温度、减少土壤蒸发,增加了生育期的积温和土壤含水量。垄作栽培通过促进根系生长,为地上生长提供了支持,加快了食叶草叶片生长发育,延长了分枝期持续时间,增加了食叶草叶片数,从而垄作栽培较平作产量明显增加了20%,这与陈振国等[30]研究结果相似。垄作可以增加作物产量,但不同地区的具体条件不同,垄沟种植的具体做法和效果存在一定差异[27, 41]。

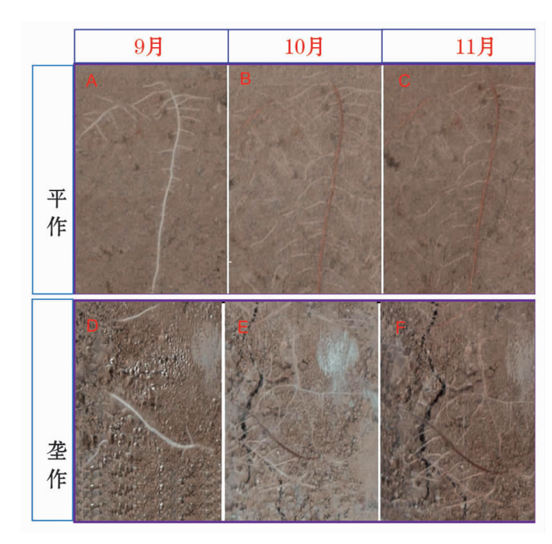


图 8　不同时期食叶草根形态变化

Fig. 8　Root morphology of *Rumex hanus* by in different periods

植物的根长、根体积、根尖数、平均根直径等根系性状是衡量植物抗旱耐盐性的重要指标[31-32],根系越发达的品种抗旱耐盐能力越强[15-16,33]。本研究结果表明,垄作条件下,食叶草根长、根体积、根尖数和平均根直径分别增加了10.47%、34.69%、19.16%和5.63%,其增长变化率为:根体积>根尖数>根长>根直径,这与王庆惠[15]等在温室土培试验耐盐品种棉花根系主要指标对盐分胁迫响应的研究结果"根体积增长速率最快,根长次之,根直径最小"一致。其原因是通过增加土壤中根长和根体积,从而扩大根系与土壤接触,提高养分与水分的吸收,改善根系周围渗透调节,缓解盐分离子(Na^+)对根系毒害。这与前人研究盐角草、碱蓬、棉花响应逆境环境(盐胁迫和磷胁迫)的根系塑性相似,即通过增加根长、平均根直径、根尖数和根体积从而提高根活力响应逆境环境[34-35]。

根系是作物地下营养器官,具有吸收水分和养

分的功能,根系生长往往会决定地上部分的生长发育[42]。对玉米、小麦等研究表明,当地上部分进入快速生长时期,地下根系会停止或减慢生长,从而把营养物质主要供应于地上茎秆叶片生长发育[16,43]。食叶草进入分枝期后叶片生长旺盛,但其地下根系依旧保持较高的生长速率(表4),这与苜蓿的生长发育特性有差异[44]。叶片与根系共同生长且地下生长速率大于地上生长速率的现象在作物中很少出现,可能是与食叶草此类作物具有地上地下同时生长发育的特性有关,Hujerová 等[45]等在盆栽研究鲁梅克斯 ok－2(食叶草和鲁梅克斯 ok－2 是同科同属作物)生长发育的研究表明:每盆鲁梅克斯 ok－2 单位面积($1\ m^{-2}$)地上生物量增长速率和地下生物量增长速率分别为 $1.72\ g\cdot d^{-1}$、$3.19\ g\cdot d^{-1}$。与本研究中根体积增长速率和叶面积增长速率相比,同样发现地下增长速率快于地上增长速率相一致(表4)。

表4 不同时期食叶草根系生长速率和叶面积增长速率比较

Tab. 4 Comparison of root growth rate and leaf area growth rate of *Rumex hanus* in different periods

指标	平作		垄作	
	根体积增长速率/($cm^3\cdot d^{-1}$)	叶面积增长速率/($cm^2\cdot d^{-1}$)	根体积增长速率/($cm^3\cdot d^{-1}$)	叶面积增长速率/($cm^2\cdot d^{-1}$)
真叶期	0.42	1.4	0.53	1.38
分枝期	1.17	1.18	1.52	1.1
叶簇期	0.51	0.44	0.72	0.42

4 结 论

利用微根管法在不破坏食叶草根系生长的前提下,通过原位观测获取食叶草根系生长图像可直观反应干旱区盐碱地垄作与平作处理下食叶草根系生长状况,利用根系分析软件处理等得到食叶草根系形态参数动态变化过程,得出以下结论:

(1) 盐碱地食叶草根系生长变化特征为 0～20 cm 土层根系生长变化幅度较大,20～40 cm 土层变化较小;0～40 cm 土层根系性状整体变化为垄作大于平作。

(2) 盐碱地食叶草叶片、产量变化特征:真叶期,叶面积增长较快,叶片数增长较慢;分枝期,叶片数增长较快,叶面积增长较慢;叶簇期,叶片和叶面积增长均减慢。一年生食叶草叶片变化和产量表现出垄作高于平作。

(3) 两种栽培方式根系性状表现表层土壤大于下层土壤;随着时间的增加,垄作栽培的根系性状增长速率逐渐高于平作栽培处理,垄作栽培显著增加了根体积、平均根直径($P<0.05$),其增幅显著高于平作处理。提高了食叶草产量($P<0.05$)和叶片数,其增幅为 20% 和 22%。

参考文献(References):

[1] 张越,杨劲松,姚荣江. 咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响[J]. 土壤学报,2016,53(2):388－400. [Zhang Yue, Yang Jingsong, Yao Rongjiang. Effects of saline ice water irrigation on distribution of moisture and salt content in coastal saline soil [J]. Acta Pedologica Sinica,2016,53(2):388－400.]

[2] 秦显艳,王春霞,何新林. 施氮对盐碱土入渗及水盐运移的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(1):248－252. [Qin Xianyan, Wang Chunxia, He Xinlin. Effect of nitrogen application on infiltration and water and salt transport in saline alkali soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2019,33(1):248－252.]

[3] 韩剑宏,李艳伟,张连科,等. 生物炭和脱硫石膏对盐碱土壤基本理化性质及玉米生长的影响[J]. 环境工程学报,2017,11(9):5291－5297. [Han Jianhong, Li Yanwei, Zhang Lianke, et al. Effect of biochar and FGD-gypsum application on soil basic physical and chemical properties and maize growth of saline soil [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control,2017,11(9):5291－5297.]

[4] 李艳华,许月卿,郭洪峰. 西部生态脆弱区农用地质量等别限制因素及提升策略研究[J]. 中国农业资源与区划,2014,35(1):67－74. [Li Yanhua, Xu Yueqing, Guo Hongfeng. Research on limiting factors and promotion strategies of agricultural land grading in western ecological fragile areas[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning,2014,35(1):67－74.]

[5] 龚子同,陈鸿昭,杨帆,等. 中亚干旱区土壤地球化学和环境[J]. 干旱区研究,2017,34(1):1－9. [Gong Zitong, Chen Hongzhao, Yang Fan, et al. Pedogeochemistry and environment of aridisol regions in Central Asia[J]. Arid Zone Research,2017,34(1):1－9.]

[6] 陈晓东,吴景贵,范围,等. 不同有机物料对原生盐碱地土壤腐殖质结合形态及组成的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(1):200－205. [Chen Xiaodong, Wu Jinggui, Fan Wei, et al. Effects of different organic materials on the morphology and composition of soil humus binding in Primary saline and Alkaline land[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2019,33(1):200－205.]

[7] Dahlawi S, Naeem A, Rengel Z, et al. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities[J]. Science of the Total Environment,2018,625:320－335.

[8] 田长彦,买文选,赵振勇. 新疆干旱区盐碱地生态治理关键技术研究[J]. 生态学报,2016,36(22):7064－7068. [Tian Changyan, Mai Wenxuan, Zhao Zhenyong. Study on key technologies of ecological management of saline alkali land in arid area of Xinjiang [J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(22):7064－7068.]

[9] Miranda M F A, Freire M B G S, Almeida B G, et al. Improvement

of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners[J]. Archives of Agronomy and Soil Science,2018,64(9):1207－1221.

[10] 张科,田长彦,李春俭. 一年生盐生植物耐盐机制研究进展[J]. 植物生态学报,2009,33(6):1220－1231.[Zhang Ke,Tian Changyan,Li Chunjian. Review of progress of studies on salt-tolerance mechanisms of annual hulophytes[J]. Acta Phytoecologica Sinica,2009,33(6):1220－1231.]

[11] 秦嘉海,赵芸晨. 鲁梅克斯对草甸盐土的改土效应研究[J]. 草业科学,2004,21(6):25－27.[Qin Jiahai,Zhao Yunchen. The desalting and amelioration effects on meadow saline soil of growing Rumex K－1[J]. Pratacultural Science,2004,21(6):25－27.]

[12] 李延琪,徐永清,苗宇,等. 鲁梅克斯叶蛋白的抗氧化肽活性及功能性质研究[J]. 食品工业科技,2017,38(2):104－110.[Li Yanqi,Xu Yongqing,Miao Yu,et al. Study on antioxidant peptide activity and functional properties of Rumex leaf protein[J]. Science and Technology of Food Industry,2017,38(2):104－110.]

[13] Mishra A P,Sharifi-Rad M,Shariati M A,et al. Bioactive compounds and health benefits of edible Rumex species:A review[J]. Cellular and Molecular Biology,2018,64(8):27－34.

[14] Jian Y,Zhang J,Yang W Q,et al. Accumulation characteristics of heavy metals in weed plants from a catchment of lower Minjiang river[J]. Journal of Agro-Environment Science,2015.

[15] 王庆惠,韩伟,侯银莹,等. 不同耐盐品种棉花根系主要指标对盐分胁迫的响应[J]. 应用生态学报,2018,29(3):865－873.[Wang Qinghui,Han Wei,Hou Yinying,et al. Responses of main characters of root system to salt stress among cotton varieties with different salt tolerance[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2018,29(3):865－873.]

[16] 方燕,闵东红,高欣,等. 不同抗旱性冬小麦根系时空分布与产量关系研究[J]. 生态学报,2019,39(8):2922－2934.[Fang Yan,Min Donghong,Gao Xin,et al. Relationship between spatio-temporal distribution of roots and grain yield of winter wheat varieties with differing drought tolerance[J]. Acta Ecologica Sinica,2019,39(8):2922－2934.]

[17] 吕国红,谢艳兵,温日红,等. 东北玉米根系生物量模型的构建[J]. 中国生态农业学报,2019(4):572－580.[Lyu Guohong,Xie Yanbing,Wen Rihong,et al. Modeling root biomass of maize in Northeast China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2019(4):572－580.]

[18] 牛学礼,南志标. 运用微根管技术研究草地植物细根的进展[J]. 草业学报,2017,26(11):205－215.[Niu Xueli,Nan Zhibiao. Review of minirhizotron applications for study of fine roots in grassland[J]. Acta Prataculturae Sinica,2017,26(11):205－215.]

[19] 刘俊萍,喻苏琴,游璐,等. 油茶细根时空分布动态对施钾水平的响应[J]. 林业科学研究,2019,32(1):31－38.[Liu Junping,Yu Suqin,You Lu,et al. Response of fine root growth of *Camellia oleifera* topotassium application level[J]. Forest Research,2019,32(1):31－38.]

[20] 潘小莲,李秀,赵英,等. 黄土高原旱塬区不同覆盖模式下冬小麦耗水特征及根系生长规律研究[J]. 麦类作物学报,2018,38(6):726－733.[Pan Xiaolian,Li Xiu,Zhao Ying,et al. Characteristics of water consumption and root growth of winter wheat under different covering modes in Arid tableland of the loess plateau[J]. Journal of Triticeae Crops,2018,38(6):726－733.]

[21] Ahrens B,Reichstein M. Reconciling ^{14}C and minirhizotron-based estimates of fine-root turnover with survival functions[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde,2014,177(2):287－296.

[22] 孙梦媛,刘景辉,赵宝平,等. 全覆膜垄作种植对旱作马铃薯生长和土壤特性的影响[J]. 水土保持学报,2018,32(5):262－269,276.[Sun Mengyuan,Liu Jinghui,Zhao Baoping,et al. Effects of full-film mulching and ridging planting on the rainfed potato growth and soil characteristics[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2018,32(5):262－269,276.]

[23] Dong W,Yu H,Zhang L,et al. Asymmetric ridge-furrow and film cover improves plant morphological traits and light utilization in rain-fed maize[J]. Journal of Meteorological Research,2018,32(5):829－838.

[24] 翟星雨,张兴义,李浩,等. 田块尺度顺坡垄作改等高垄作提高黑土有机质含量[J]. 农业工程学报,2018,34(19):155－161.[Zhai Xingyu,Zhang Xingyi,Li Hao,et al. Improving mollisols organic matter content as downslope tillage replaced by contour tillage in field scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2018,34(19):155－161.]

[25] 李廷亮,谢英荷,任苗苗,等. 施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响[J]. 生态学报,2011,31(1):212－220.[Li Tingliang,Xie Yinghe,Ren Miaomiao,et al. Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland[J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(1):212－220.]

[26] Li W,Wen X,Han J,et al. Optimum ridge-to-furrow ratio in ridge-furrow mulching systems for improving water conservation in maize (*Zea may* L.) production[J]. Environmental Science and Pollution Research,2017,24(29):23168－23179.

[27] 张婷,吴普特,赵西宁,等. 垄沟种植模式对玉米生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(1):27－30,40.[Zhang Ting,Wu Pute,Zhao Xining,et al. Effects of ridge and furrow planting system on growth and yield of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2013,31(1):27－30,40.]

[28] 陈静蕊,刘佳,王惠明,等. 保护性耕作措施对陡坡地养分流失的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018(1):146－152.[Chen Jingrui,Liu Jia,Wang Huiming,et al. Effect of conservation tillage on soil nutrient loss from a steep hillslope soil[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2018(1):146－152.]

[29] 张国和,王明泽,李国良. 大庆地区食叶草引种育苗及高产优质种植技术研究[J]. 当代畜牧,2011(10):39－41.[Zhang Guohe,Wang Mingze,Li Guoliang. Study on introduction and breeding of *Rumex dapibus* herba and high-yield and high-quality planting techniques in Daqing[J]. Contemporary Animal Husbandry,2011(10):39－41.]

[30] 陈振国,杨艳华,李进平. 不同垄作覆盖方式对烤烟根际环境及产量影响[J]. 灌溉排水学报,2012,31(3):135－138.[Chen Zhenguo,Yang Yanhua,Li Jinping,et al. Effects of different covering ridge on the environment of rhizosphere,yield and quality of tobacco[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2012,31(3):135－138.]

[31] Zhao C X,Deng X P,Shan L,et al. Changes in root hydraulic conductivity during wheat evolution[J]. Journal of Integrative Plant Biology,2005,47(3):302－310.

[32] Coners H,Leuschner C. In situ measurement of fine root water ab-

sorption in three temperate tree species-temporal variability and control by soil and atmospheric factors[J]. Basic and Applied Ecology,2005,6(4):395 – 405.

[33] Suralta R R,Kano-Nakata M,Niones J M,et al. Root plasticity for maintenance of productivity under abiotic stressed soil environments in rice:Progress and prospects[J]. Field Crops Research,2018,220:57 – 66.

[34] 弋良朋,王祖伟. 盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布[J]. 生态学报,2011,31(5):1195 – 1202. [Yi Liangpeng,Wang Zuwei. Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes[J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(5):1195 – 1202.]

[35] 孙淼,李鹏程,郑苍松,等. 低磷胁迫对不同基因型棉花苗期根系形态及生理特性的影响[J]. 棉花学报,2018,30(1):45 – 52. [Sun Miao,Li Pengcheng,Zheng Cangsong,et al. Effects of low phosphorus stress on root morphology and physiological characteristics of different cotton genotypes at the seedling stage[J]. Cotton Science,2018,30(1):45 – 52.]

[36] Laclau P B,Laclau J P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil[J]. Field Crops Research,2009,114(3):351 – 360.

[37] De Silva A L C,De Costa W,Bandara D. Growth of root system and the patterns of soil moisture utilization in sugarcane under rain-fed and irrigated conditions in sri lanka[J]. Sugar Tech,2011,13(3):198 – 205.

[38] 马忠明,陈娟,刘婷婷,等. 水氮耦合对固定道垄作栽培春小麦根长密度和产量的影响[J]. 作物学报,2017,43(11):1705 – 1714. [Ma Zhongming,Chen Juan,Liu Tingting,et al. Effects of water and nitrogen coupling on root length density and yield of spring wheat in permanent raised-bed cropping system[J]. Acta Agronomica Sinica,2017,43(11):1705 – 1714.]

[39] 马忠明,连彩云,张立勤. 绿洲灌区垄作沟灌栽培对春小麦生长和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(2):315 – 319. [Ma Zhongming,Lian Caiyun,Zhang Liqin. Effects of bed planting system on growth and yield of spring wheat in oasis irrigation region[J]. Journal of Triticeae Crops,2012,32(2):315 – 319.]

[40] 翟夏斐. 不同覆盖栽培模式对土壤水热动态变化和小麦根系的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014. [Zhai Xiafei. Effects of Different Covering Cultivation Modes on Soil Water and Heat Dynamic Change and Wheat Root Growth[D]. Yangling:Northwest A & F University,2014.]

[41] 谢军红,李玲玲,张仁陟,等. 覆膜、沟垄作对旱作农田玉米产量和水分利用的叠加效应[J]. 作物学报,2018,44(2):268 – 277. [Xie Junhong,Li Lingling,Zhang Renzhi,et al. Superimposition effect of film-mulching and furrow ridging culture on maize grain yield and WUE in loess plateau[J]. Acta Agronomica Sinica,2018,44(2):268 – 277.]

[42] 赵丽萍,刘家勇,赵培方,等. 水分胁迫对甘蔗根系及地上部生长的影响[J]. 湖南农业大学学报,2019,45(1):10 – 15. [Zhao Liping,Liu Jiayong,Zhao Peifang,et al. The impact of water stress on the growth of roots and above-ground parts in sugarcane[J]. Journal of Hunan Agricultural University,2019,45(1):10 – 15.]

[43] Da Costa C H M,Carmeis Filho A C A,Crusciol C A C,et al. Intensive annual crop production and root development in a tropical acid soil under long-term no-till and soil-amendment management[J]. Crop and Pasture Science,2018,69(5):488 – 505.

[44] Li M,Wang Y,Adeli A,et al. Effects of application methods and urea rates on ammonia volatilization,yields and fine root biomass of alfalfa[J]. Field Crops Research,2018,218:115 – 125.

[45] Hujerová R,Pavlů L,Pavlů V,et al. Dynamics of above-ground and below-ground biomass of *Rumex crispus*,*Rumex obtusifolius* and the new weedy species *Rumex hybrid* cv. OK – 2 (*R. patientia x R. tianschanicus*) in the seeding year[J]. Weed Research,2017,57(2):81 – 90.

Effects of cultivation patterns on the root growth and foliage yield of *Rumex hanus* by.

ZHENG Xu, LI Bin, ZHANG Wan-yin, LIU Jing, ZHANG Feng-hua, LI Lu-hua, WANG Jia-ping

(*College of Agriculture*,*Shihezi University*,*Shihezi* 832000,*Xinjiang*,*China*)

Abstract: Overcoming the shortage of arable land in China to enable rational use of saline-alkali lands, which cannot be cultivated, is of great significance. *Rumex hanus* by. is a new salt-and alkali-tolerant crop, and studies of its growth and development can offer novel improvement measures for the development and utilization of saline-alkali lands. Through field experiments, two cultivation patterns were set up: ridge and flat cultivation. Dynamic changes in the growth of *Rumex hanus* by. roots were monitored using the microtubule method. Method:The effects of ridge cultivation on biomass, root length, root volume, average root diameter, root tip number, leaf morphology and foliage yield were studied through field experiments. Results: (1) Root growth in ridge and flat cultivation showed similar logarithmic characteristics. (2) Root length (2 217.9 cm), average root diameter (2.41 mm), root volume (101.18 cm^3), and foliage grass yield (0.803 $kg \cdot m^{-2}$) in ridge cultivation were increased by 10.47%, 5.63%, 34.69%, and 20%, respectively, compared with those in flat cultivation. (3) Compared with conventional flat cultivation, ridge cultivation promoted root growth and development and increased foliage grass yield.

Key words: *Rumex hanus* by.; saline-alkali soil; cultivation method; root growth; yield; Shihezi